

обладать способностью, в зависимости от внешних условий, перестраивать рациональным образом свою структуру и управлять как информационными, так и материальными потоками, т.е. самоорганизовываться.

В результате подготовку производства целесообразно строить таким образом, чтобы при анализе информации обеспечивалась самоорганизация структуры в изменяющихся условиях производства посредством формирования самой информационной системой оптимальных структур баз данных, процедур управления и т. д.

**УДК 621.793:669.717**

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА С БРОНЗОВЫМ ПОДСЛОЕМ НА СТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТАЛИ**

**Белоцерковский М.А., Комаров А.И., Сосновский И.А., Курилёнок А.А., Орда Д.В., Искандарова Д.О.**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты исследования структуры и триботехнических характеристик покрытия из силумина АК12, полученного центробежной индукционной наплавкой за один технологический прием на стальную основу с формированием подслоя, обеспечивающего высокий уровень адгезионных свойств покрытия и основы. В качестве материала наплавки использовался алюминий-кремниевый сплав АК12 (ГОСТ 1583-93), который имеет повышенный уровень литейных и механических свойств [1]. Для обеспечения адгезии покрытия со стальной основой было предложено ввести в состав шихты самофлюсующийся порошок на основе меди ПР-БрОл8НСР, который за счет более высокой плотности обеспечивал бы формирование переходного слоя. Количество материала выбиралось из расчета получения переходного слоя толщиной 0,5–1 мм, а покрытия из силумина 5–6 мм.

Формирование покрытия на внутренней поверхности цилиндрической стальной заготовки, изготовленной из стали 20 (ГОСТ 1050-88), проводилось совмещением метода центробежного формования предварительно подготовленной шихты с нагревом токами высокой частоты до температуры 780–800°С, с последующей изотермической выдержкой при данной температуре в течение 6 мин. Частота вращения заготовки составляла 1250 мин<sup>-1</sup>.

Как показал анализ структуры наплавленного покрытия, при нагреве до 780–800°С происходит расплавление шихтового материала с диффузионным перемешиванием и последующим образованием алюминий-медного сплава, легированного кремнием, никелем и оловом. При этом в зависимости от количества материала подслоя изменяется основа сплава. Так при высоком содержании меди в составе шихты (~55 мас.%), основу сплава составляет θ-

фаза, в которой имеются включения кремния, железосодержащих соединений и олова (рисунок 1, а), размер которых не превышает 30 мкм. Согласно данным микрорентгеноспектрального анализа, включения равномерно распределены по структуре слоя за исключением частиц железосодержащих соединений, плотность которых возрастает у основы, тогда как у поверхности стальной втулки формируется зона столбчатых частиц из железосодержащих соединений (спектр 9-11, рисунок 1, б).

Олово, в этом случае, как и кремний, выделяются в виде частиц неправильной формы с размером до 40 мкм, равномерно распределенных по структуре слоя. Частицы олова, легированные медью (спектр 3-5, рисунок 1б, таблица 1), располагаются по границе зерен  $\theta$ -фазы, при этом могут включать частицы кремния размером до 10 мкм. Отсутствие алюминий-кремниевой эвтектики связано с более высоким сродством Al с Cu, который в полном объеме используется для образования  $\theta$ -фазы. Согласно результатам микрорентгеноспектрального анализа, никель легирует зерна  $\theta$ -фазы, но в условиях ускоренного охлаждения это приводит к неоднородности зерен по составу (спектр 12-14, рисунок 1б).

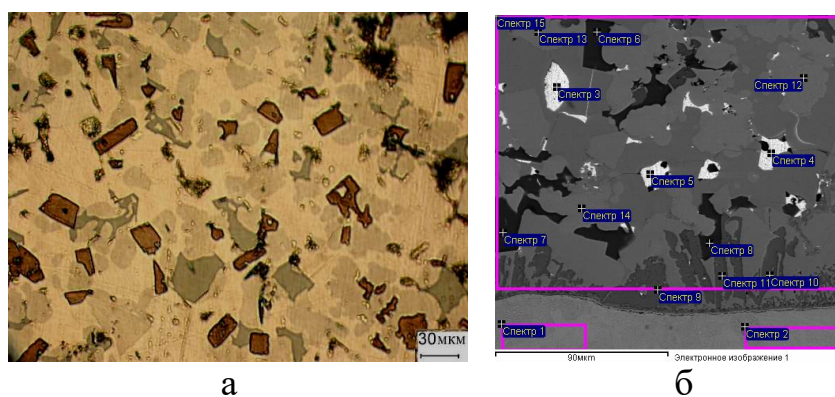


Рисунок 1 – Структура наплавленного покрытия в середине слоя (а) и у границы раздела фаз со стальной втулкой (б)

Таблица 1 – Результаты спектрального анализа границы раздела фаз покрытия и стальной втулки

Спектр	C	O	Al	Si	Mn	Fe	Ni	Cu	Sn
Спектр 1-2	5.25-8.47				0.62-0.76	90.92-93.99			
Спектр 3-5	5.92-13.15	3.95-5.57	0.48-0.57					2.74-3.17	78.05-90.34
Спектр 6-8	25.04-28.81		0.17-0.51	68.71-72.16		0.41-0.76	0.30	0.70-1.14	1.04-1.29
Спектр 9-11	21.93-23.61	3.61-3.80	26.20-27.41	15.28-16.50		28.69-30.66	1.12-1.57	0.96-1.41	
Спектр 12-14	13.43-15.29		29.81-30.90	0.38-0.41		1.99-3.03	6.95-12.58	39.69-45.84	
Спектр 15	6.21		30.43	15.17		6.77	2.67	34.90	3.85

Таким образом, структура образовавшегося сплава представляет собой композиционный материал, состоящий из  $\theta$ -фазы с включениями Si-, Sn- и Fe-содержащих частиц. Формируемый сплав характеризуется термическим расширением близким к стали, что обеспечивает адгезионные свойства покрытия со стальной основой. Однако, следует отметить отсутствие как такового подслоя из медного сплава, поэтому для создания многослойной втулки с подобными материалами следует применять многостадийный процесс послойной наплавки.

1. Влияние олова в материале подслоя на структуру Al-Si сплава, наплавляемого центробежно индукционным методом / Комаров А.И., Сосновский И.А., Орда Д.В., Куриленок А.А., Искандарова Д.О. // Механика машин, механизмов и материалов, 2019. – №3(48). – С.77–84.

**УДК 621.793**

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПУТЕВЫХ МАШИН ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

**Белявин К.Е.<sup>1</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>2</sup>, Сосновский И.А.<sup>2</sup>, Курилёнок А.А.<sup>2</sup>**

- 1) Белорусский национальный технический университет
- 2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

На предприятиях железнодорожного транспорта РБ используется широкая номенклатура деталей машин и устройств, которые содержат в своем исполнении узлы трения триботехнического назначения, работающие в режиме интенсивного абразивного изнашивания. К таким узлам трения относятся, например, детали ходовых соприжений рабочих органов путевых машин высшего класса сложности, предназначенных для выправки, подбивки, отделки пути и очистки щебня (втулки подбивочных блоков и гайки подъема электромагнитов машин типа ВПР и ВПО, виброплиты балластировочных машин и др.).

Задачей исследований, проведенных в данной работе, является повышение работоспособности и срока службы антифрикционных изделий ходовых соприжений рабочих органов путевых машин. Решение этой задачи осуществлялось путем разработки новой высокоэффективной технологии индукционной наплавки порошковых покрытий с использованием результатов теоретических исследований процесса проплавления порошковых слоев при индукционном нагреве.

Применение композиционных антифрикционных покрытий из модифицированных медных сплавов для создания двухслойных